

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE19.02.03  
#2

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2002年 2月25日

REC'D 24 APR 2003

WIPO

PCT

出 願 番 号  
Application Number:

特願2002-048392

[ST.10/C]:

[JP2002-048392]

出 願 人  
Applicant(s):

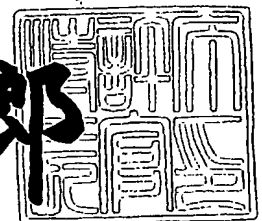
独立行政法人産業技術総合研究所  
株式会社アルネアラボラトリ

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 4月 1日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3022343

BEST AVAILABLE COPY

【書類名】	特許願
【整理番号】	ALL001
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	G02F 1/01
【発明者】	
【住所又は居所】	茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
【氏名】	榊原 陽一
【発明者】	
【住所又は居所】	茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
【氏名】	徳本 圓
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都多摩市永山5-6-9
【氏名】	阿知波 洋次
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都八王子市みなみ野1-11-4-506
【氏名】	片浦 弘道
【発明者】	
【住所又は居所】	埼玉県川口市川口6丁目3番14号 株式会社アルネアラボラトリ内
【氏名】	田中 佑一
【発明者】	
【住所又は居所】	埼玉県川口市川口6丁目3番14号 株式会社アルネアラボラトリ内
【氏名】	マーク ケンネス ジャボロンスキー
【特許出願人】	
【持分】	006/010
【識別番号】	301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【特許出願人】

【持分】 004/010

【住所又は居所】 埼玉県川口市川口 6 丁目 3 番 1 4 号

【氏名又は名称】 株式会社アルネアラボラトリ

【代表者】 田中 佑一

【代理人】

【識別番号】 100085419

【弁理士】

【氏名又は名称】 大垣 孝

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012715

【納付金額】 8,400円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【その他】 国以外のすべての者の持分の割合 4 / 1 0

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 信号光の雑音低減装置及び信号光の雑音低減方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光通信における信号光の雑音を低減するために、該信号光の通路中に設けられ、かつ、カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いて構成されていることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の信号光の雑音低減装置において、前記カーボンナノチューブは、光学的な非線形性を有していることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体は、光増幅器と組み合わせることにより、前記信号光とは逆進する光に対しては、光アイソレータとしての機能を有することを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 4】 請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体は、前記信号光に対する波形整形器としての機能を有することを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 5】 請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体の可飽和吸収可能な波長域は、1200nm 以上であってかつ 2000nm 以下とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 6】 請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記信号光は、光ファイバ増幅器から出射された信号光とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の信号光の雑音低減装置において、前記光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ増幅器であることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記信号光は、半導体光増幅器から出射された信号光とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 9】 請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記信号光は、半導体レーザから出射された信号光とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 10】 請求項 1 ないし 7 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記通路中に複数段の前記光ファイバ増幅器を接続して具える場合には、前記可飽和吸収体を、隣接する前記光ファイバ増幅器間毎に、中継器として設けていることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 11】 請求項 1 ないし 10 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記カーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブ及び多層カーボンナノチューブの双方またはいずれか一方であることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 12】 請求項 1 ないし 11 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体は、透明な光学部品に設けられていることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

【請求項 13】 光通信における信号光の通路中に、カーボンナノチューブを可飽和吸収体として配置して、該可飽和吸収体によって信号光の雑音を低減することを特徴とする信号光の雑音低減方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

この発明は、光通信において信号光の雑音を低減する装置（以下、雑音低減装置と称する。）に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、光通信技術の飛躍的な進歩とともに、信号光の伝送距離のより一層の長スパン化（長距離化）が望まれている。

【0003】

伝送距離の長スパン化を図るに当たり、現在、信号光を光増幅させる複数の光増幅器で光ファイバ等の伝送媒体を中継して、信号光強度の伝送距離に伴う減衰

を補償する方式が採用されている。

【0004】

近年、光ファイバ増幅器のなかで、エルビウムの励起光による誘導放出現象を利用した、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier 以下、EDFAと称する。）が注目されている。

【0005】

光ファイバ増幅器は、伝送媒体との整合性が良好なため光伝送システムに適しているが、EDFAは、増幅波長域と石英系ファイバの極低損失波長帯域とが1500nm波長帯で整合して、高利得及び高効率を実現できるため、特に好適である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、EDFAをはじめとする光増幅器は、励起イオンの反転分布によって増幅信号光を発生する。この信号光の増幅過程において、ランダムに発生する自然放出光も増幅されるため、光増幅器からは増幅自然放出光（ASE: Amplified Spontaneous Emission 以下、ASEと称する場合がある。）、すなわち、雑音光（ノイズ又は雑音とも称する。）が発生する。

【0007】

その結果、増幅信号光にランダムな位相を有するASEが付加されてしまい、信号光対雑音光比（S/N比）が著しく劣化してしまう。

【0008】

ASEの混入によって、光増幅器から所定の信号光のみを精度良く出力できないうえに、ASEは、信号光と同様に光ファイバ等の伝搬中に光増幅を繰り返す。

【0009】

そのため、この不所望に発生するASEは、伝送距離の長スパン化を図る上で大きな障害となっている。

【0010】

そこで、上述した問題点を技術的に解決する手法の出現が望まれていた。

## 【 0 0 1 1 】

## 【課題を解決するための手段】

そこで、この出願に係る発明者は、先ず、この雑音光の発生当初の光強度は、通常、信号光の光強度に比べて、かなり小さい点に着目して鋭意研究を行った。その結果、カーボンナノチューブの可飽和吸収体が有する、光パワーの2乗で吸収が低減して透過率が激増する特性を利用すれば、信号光のみを増幅させるとともに雑音光の増幅を抑制させることができ、従って、信号光のみを伝搬させ、かつ、雑音光を遮断することが可能であることが判った。

## 【 0 0 1 2 】

そこで、この発明の信号光の雑音低減装置は、以下のような構成上の特徴を有する。

## 【 0 0 1 3 】

すなわち、この雑音低減装置は、カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いて構成されている。そして、この雑音低減装置は、光通信における信号光の雑音を低減するために、信号光の通路中に設けられる。

## 【 0 0 1 4 】

このような構成にすれば、可飽和吸収体であるカーボンナノチューブが、光強度の弱いASE等の透過を遮断する一方で、光強度の強い信号光を透過するので、信号光の雑音を低減することができる。

## 【 0 0 1 5 】

また、好ましくは、カーボンナノチューブは、光学的な非線形性を有しているのが良い。

## 【 0 0 1 6 】

また、好ましくは、可飽和吸収体は、光増幅器と組み合わせることにより、信号光とは逆進する光に対しては、光アイソレータとしての機能を有するのが良い。

## 【 0 0 1 7 】

信号光とは逆進する光として、例えば、信号光の反射光がある。反射光の光強度は信号光の光強度よりも弱い。従って、可飽和吸収体を、更に、信号光と反射

光との光アイソレータとして機能させることができ、光通信のための機器構成を簡易にすることができる。

【 0 0 1 8 】

また、好ましくは、可飽和吸収体は、信号光に対する波形整形器としての機能を有するのが良い。

【 0 0 1 9 】

可飽和吸収体が信号光の強度分布のうち光強度の弱い部分を遮断させ、光強度の強い部分を透過させることができるので、可飽和吸収体を透過する信号光のパルス波形を、急峻な波形に整形することができる。

【 0 0 2 0 】

また、好ましくは、可飽和吸収体が可飽和吸収可能な波長域は、1200nm以上であってかつ2000nm以下であるのが良い。

【 0 0 2 1 】

このようにすると、例えば、現在利用されている石英系光ファイバを伝送媒体とする信号光の波長帯域と整合させることができる。

【 0 0 2 2 】

また、好ましくは、信号光は、光ファイバ増幅器から出射された信号光とするのが良い。

【 0 0 2 3 】

また、好ましくは、光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ増幅器であるのが良い。

【 0 0 2 4 】

このようにすると、エルビウム添加光ファイバ増幅器における石英系光ファイバの極低損失波長帯域と、可飽和吸収体の可飽和吸収可能な波長域とを整合させることができるので、実用上有用となる。

【 0 0 2 5 】

また、好ましくは、信号光は、半導体光増幅器から出射された信号光とするのが良い。

【 0 0 2 6 】



また、好ましくは、信号光は、半導体レーザから出射された信号光とするのが良い。

【0027】

また、好ましくは、光路中に複数段の光ファイバ増幅器を接続して具える場合には、可飽和吸収体を、隣接する光ファイバ増幅器間毎に、中継器として設けるのが良い。

【0028】

このようにすると、接続された光ファイバ増幅器の各々から出射される増幅光に対して可飽和吸収機能が果たされるので、増幅自然放出光の透過を効率良く遮断でき長スパン化に有効となる。

【0029】

また、好ましくは、カーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブ及び多層カーボンナノチューブの双方またはいずれか一方とするのが良い。

【0030】

上述した雑音低減装置は、好ましくは、透明基板、透明なプリズム、透明なレンズ、その他の好適な透明な光学材料で形成された光学部品の表面にカーボンナノチューブを設けて構成することができる。或いは、カーボンナノチューブを透明な光学材料間に挟んでも良いし、又は、透明な光学材料中に埋め込んでも良い。

【0031】

【発明の実施の形態】

以下、図を参照して、この発明の実施の形態について説明する。尚、説明に用いる各図は、この発明を理解できる程度に各構成成分の寸法、形状及び配置関係などを概略的に示してあるに過ぎない。従って、この発明は、図示例のみに限定されるものではない。

【0032】

<1> カーボンナノチューブの可飽和吸収機能の検証

(1-1) カーボンナノチューブの作製

この実施の形態では、炭素原子(C)の六員環構造によって形成された1枚の

グラフェン(graphen)がチューブ構造となっている、単層カーボンナノチューブ(SWNT:Single-Wall carbon NanoTube、以下、SWNTと称する。)を用いる。尚、カーボンナノチューブには、その他に、多層構造のグラフェンがチューブ構造となっている多層カーボンナノチューブ(MWNT:Mnlti-Wall carbon NanoTube、以下、MWNTと称する。)もあり、この発明をSWNTのみに限定するものではない。

## 【0033】

SWNTの作製は、周知の通り、レーザ蒸発法やアーク放電法等の任意好適な方法を利用することができる。以下に、レーザ蒸発法によるSWNTの作成方法の一例を簡単に述べる。

## 【0034】

先ず、遷移金属元素、例えば、コバルト(Co)及びニッケル(Ni)を、それぞれ数原子% (例えば、各々0.6原子%とする。)含有する(金属/炭素)コンポジット棒を作製する。

## 【0035】

続いて、このコンポジット棒を電気炉中で約1200℃の温度で加熱した後、500 Torrの減圧下でアルゴン(Ar)ガスを50 s c c mで導入しながら、ネオジウム(Nd)・ヤグ(YAG)パルスレーザ(10 Hz)等で瞬時に炭素と触媒金属とを蒸発させてSWNTを作製する。尚、こうして得られたSWNTには、副生成物である不純物が混入している場合があるので、水熱法、遠心分離法及び限外濾過法等のいずれかの任意好適な方法によって、SWNTを精製するのが好ましい。

## 【0036】

## (1-2) カーボンナノチューブ薄膜の作製

続いて、SWNTが成膜されている薄膜(以下、SWNT薄膜と称する。)を作製する。尚、SWNT薄膜の作製には、SWNTの直径が好ましくは0.5 nm~2.0 nmの範囲内であり、又、SWNTの長さが好ましくは500 nm~1000 nmの範囲内のものを使用するのが良い。SWNTの直径及び長さをこの範囲内にすれば、可飽和吸収機能を好適に発現させることができる。

## 【0037】

そこで、以下の実施の形態では、平均直径が1.3 nm程度、平均長さが100 nm程度のSWNTを用いる。

## 【0038】

SWNT薄膜の作製には、SWNTを分散媒に分散させて得られた分散液を透明な光学材料、すなわち、ガラス基板等の透明性の被塗布物上にスプレー塗布してSWNT薄膜を作製する、スプレー法を採用する。以下に、スプレー法によるSWNT薄膜の作製方法の一例を簡単に述べる。尚、ガラス基板として、例えば、平行平面板を用いる。

## 【0039】

先ず、(1-1)で説明した方法によって精製されたSWNTを、分散媒である、例えば、アルコール、ジクロロエタン及びジメチルフォルムアルデヒド等のうちの少なくとも1つに均一分散させ分散液を調製する。尚、分散液の調製は、必要に応じて界面活性剤等を添加しても構わない。尚、SWNTの分散濃度は、例えば、エタノールを分散媒とした場合は、1~2 mg/ml程度が好適である。尚、分散濃度はこれに限られず、目的及び設計に応じて任意に変更できる。

## 【0040】

続いて、調製した分散液を、ガラス基板上にスプレー塗布して乾燥させる。スプレー塗布するガラス基板が低温の場合には、塗布した分散液中のSWNTが凝集し良好な膜質にならないため、ガラス基板を加温しながらスプレー塗布する。

## 【0041】

上述した過程を経ることにより、良質なSWNT薄膜を得ることができる。尚、SWNT薄膜の作製方法はこれに限定されず、電気泳動成膜法やポリマー分散法等を利用して良い。

## 【0042】

(1-3) カーボンナノチューブの吸収スペクトル測定

(1-2)で説明した方法によって作製されたSWNT薄膜の光吸収特性の評価を行った。

## 【0043】

SWNT薄膜は、精製されたSWNT 1～2 [mg]を、分散媒として、例えば、エタノール5 [ml]に分散させた分散液を、透明なガラス基板上にスプレー塗布して作製する。

#### 【0044】

こうして得られたSWNT薄膜の光吸収特性の測定結果を図1に示す。測定は、分光光度計U-4000（日立製作所社製）を用いて行った。この図の横軸はSWNT薄膜に照射した光のエネルギー[eV]を表し、縦軸は当該SWNT薄膜の吸光度[-]を表している。

#### 【0045】

図1に示すように、SWNT薄膜は、赤外領域に複数の吸収帯を有することがわかる。また、このSWNT薄膜は、0.8 [eV]付近に吸収端をもつことから半導体の性質を有するものと推察される。

#### 【0046】

次に、図1に示される最も低いエネルギー（ここでは、1 [eV]付近）に現れている吸収帯を抜き出し、横軸を光の波長[nm]に変換したものを図2に示す。

#### 【0047】

図2に示すように、図1における約1 [eV]付近の吸収帯は1200 nm～2000 nmの波長域に存在し、また、吸収ピーク波長は1780 nm付近であることが確認された。尚、SWNTの吸収ピーク波長は、この実施の形態の条件下では1780 nm付近であったが、SWNTの直径及び長さを調整することによって、吸収ピーク波長は微少量変化するものと推察される。

#### 【0048】

(1-4) カーボンナノチューブの可飽和吸収機能の測定

(1-2)で既に説明した方法で作製されたSWNT薄膜に照射光（レーザ光）を照射して、照射光強度とSWNT薄膜を透過する透過光強度との関係をZ-スキャン法によって測定し、SWNT薄膜の可飽和吸収機能の評価を行った。

#### 【0049】

図3にZ-スキャン法の測定装置を概略的に示す。図3に示すように、測定装置10は、半導体レーザ等の光源12、UVカットフィルタ14、NDフィルタ

16、焦点距離  $f$  が 150 mm のレンズ 18 及び受光器 20 が、光源 12 からの照射光の光軸（Z 方向）に沿ってこの順序で配置されており、SWNT 薄膜 15 はレンズ 18 と受光器 20 との間に配置されている。

#### 【0050】

そして、SWNT 薄膜 15 を、レンズ 18 の焦点 F から受光器 20 側に 40 mm 程度寄った位置を原点 X（0：ゼロ）として、光軸（Z 軸）の紙面左方向（光源 12 方向）に沿って移動させ、SWNT 薄膜 15 に照射される照射光強度での透過率変化を測定した。

#### 【0051】

このとき、光源 12 は、再生増幅器付きチタンサファイアレーザに光パラメトリック増幅(OPA:Optical Parametric Amplifier)を備えており、SWNT の吸収ピーク波長である約 1780 nm のレーザ光を出力する。また、レーザ光のパルス幅を 200 fs、繰り返し周期を 1 kHz とし、光源 12 からのレーザ光強度を、 $10\ \mu\text{W}$ 、 $20\ \mu\text{W}$ 、 $30\ \mu\text{W}$ 、 $50\ \mu\text{W}$ 、 $100\ \mu\text{W}$  及び  $300\ \mu\text{W}$  の 6 種類として測定を行った。尚、SWNT 薄膜 15 に照射される光量は、当該 SWNT 薄膜 15 が焦点 F に配置されたとき最も大きくなり、焦点 F から遠ざかるにつれて小さくなる。また、一例として、光源 12 からのレーザ光強度が  $10\ \mu\text{W}$  である場合の、焦点 F でのレーザ光径は約 0.05 mm であり、焦点 F でのレーザ光強度は約 637 MW であった。

#### 【0052】

SWNT 薄膜 15 を、原点 X（0）から紙面左方向に 40 mm（-40 mm）付近にまで移動させた位置、すなわち、SWNT 薄膜 15 が焦点 F 近傍に位置したときの、光源 12 からの各レーザ光強度と透過率との関係を図 4 に示す。図 4 において、横軸にレーザ光強度（光パワー） $[\mu\text{W}]$  を対数表示し、縦軸に透過率 $[-]$ をプロットして示す。 $10\ \mu\text{W}$ では約  $3 \times 10^{-2}$ （3%）、 $20\ \mu\text{W}$ では約  $9.5 \times 10^{-2}$ （9.5%）、 $30\ \mu\text{W}$ では約  $16.5 \times 10^{-2}$ （16.5%）、 $50\ \mu\text{W}$ では約  $32 \times 10^{-2}$ （32%）、 $100\ \mu\text{W}$ では約  $55 \times 10^{-2}$ （55%）及び  $300\ \mu\text{W}$ では約  $80 \times 10^{-2}$ （80%）であった。

#### 【0053】

図4からも理解できるように、各レーザ光強度において、照射光強度による透過率の相違はあるものの、レンズ18の焦点F近傍である-40mm付近で透過率が増加する光学的非線形性が示されている。よって、SWNT薄膜は、赤外領域の吸収帯域の光（或いは信号光）に対して可飽和吸収機能を有することが確認された。

## 【0054】

ところで、この実施の形態では、SWNT薄膜表面に好適なコーティング等が施されていないため、当該SWNT薄膜に照射されるレーザ光の拡散は不可避である。よって、この実施の形態において、この拡散によるレーザ光損失が約20%程度であることを考慮すれば、透過率が約 $80 \times 10^{-2}$ （80%）程度では、照射光（レーザ光）をほぼ100%透過するものと考えられる。

## 【0055】

<2> カーボンナノチューブの可飽和吸収機能を利用した構成例

そこで、先ず、可飽和吸収体であるカーボンナノチューブを、光通信での信号光の通路中に設け、信号光の雑音を低減させる雑音低減装置として利用する構成例につき説明する。

## 【0056】

更に、雑音低減装置として用いる可飽和吸収体を、光増幅器と組み合わせることにより、信号光とは逆進する光に対する光アイソレータとして利用する。また信号光に対する波形整形器として利用する。

## 【0057】

図5は、この発明の、信号光の雑音低減装置を備える光ファイバ増幅器である、EDFAについて説明するための概略構成図である。また、図9は、図5との構成の相違を説明するための従来一般的なEDFAの概略構成図である。尚、図5及び図9は双方向励起型EDFAであるがこれに限定されるものではなく、前方向励起型EDFA或いは後方向励起型EDFAであってもこの発明を適用して好適である。

## 【0058】

また、この実施の形態では、光ファイバ増幅器としてEDFAを例に挙げて説

明するがこれに限られるものではなく、例えば、ラマン増幅器等であってもこの発明を好適に実施することができる。

#### 【0059】

先ず、図9を参照して、一般的なEDFAの構成の一例について説明する。

#### 【0060】

図9に示すように、一般的な双方向励起型EDFA30は、入力部32と出力部42との間に設けられており、光合分波器34、34'、励起光源36、36'、光アイソレータ38、38'及びエルビウム添加光ファイバ（以下、EDFと称する。）40を具えている。このとき、光アイソレータ38、38'は、主に、EDFA30と他のファイバとの接続端となる入力部32及び出力部42の端部で発生する、信号光とは逆進する反射光（雑音光）を抑制する、非相反回路として機能している。

#### 【0061】

双方向励起型EDFA30の動作の概略は、以下の通りである。

#### 【0062】

先ず、入力部32から入射された信号光は、光合分波器34で励起光源36から出射される励起光と合波された後、光アイソレータ38を経てEDF40で増幅される。そして、増幅された光（増幅光）は、光合分波器34'及び光アイソレータ38'で残留励起光等の不要光が分波された後、所望の増幅信号光となって出力部42に出射される。

#### 【0063】

このような従来の双方向励起型EDFAについて、この発明の信号光の雑音低減装置を適用した一構成例を図5に示す。図5を参照して、この発明の実施の形態の一例を説明する。

#### 【0064】

図5に示すように、この実施の形態の雑音低減装置は、カーボンナノチューブによる可飽和吸収体で構成してある。尚、このときの可飽和吸収体15は、（1-3）の項で既に説明したような、透明なガラス基板上に塗布形成されたSWNT薄膜である。

## 【0065】

この実施の形態では、ガラス基板上のSWNT薄膜を、所望の信号光に対して透過率が概ね80%以上となるような膜厚に形成するのが良い。そうすることにより、所望の信号光の透過を妨げることなく、不所望な雑音光の透過だけを効果的に低減させることができる。尚、以下の説明では、雑音低減装置を、単に可飽和吸収体と称することもある。

## 【0066】

この実施の形態では、この雑音低減装置を、双方向励起型EDFA50の信号光の通路中に挿入して設けてある。この構成例では、図9のEDF40の後段の光アイソレータ38'を、カーボンナノチューブの可飽和吸収体15で代替させた構成としてある。

## 【0067】

但し、EDFAは、周知の通り、半導体レーザの励起光（励起波長：980nm又は1480nm）によるエルビウム（Er）の反転分布によって、シリカファイバの極低損失波長域の1500nm帯の信号光を光増幅する。そのため、SWNT薄膜が可飽和吸収を起こす波長域（概ね1200nm～2000nm）とEDFAの信号光波長帯（1500nm）との整合性をとることができる。

## 【0068】

この実施の形態で、光アイソレータ38'と代替した可飽和吸収体15は、（1-4）で既に説明したように、光強度の弱い光（雑音光）を遮断する一方で、光強度の強い光（信号光）を透過する特性を有している。

## 【0069】

それゆえ、この雑音光の光パワーと信号光の光パワーとの差を上手く利用すれば、カーボンナノチューブで構成された可飽和吸収体15にこれら光を通すことにより、雑音光の透過率を低下させる（実質的に雑音光を遮断させる）が、信号光をほぼ100%透過させることが可能であることがわかる。

## 【0070】

よって、例えば、双方向励起型EDFA50で発生する当初の雑音光の光強度（光パワー）が10μW程度であり、これに比して当初の信号光の光強度（光パ



ワー) が  $50\ \mu\text{W}$  とか、 $100\ \mu\text{W}$  とかそれ以上の大きなレベルの場合には、信号光強度による透過率の差に基づいて光通信システムを構築することにより所望の機能が果たされる。尚、これはあくまで一例であり、所望の設定に応じて任意好適に変更することができる。

## 【0071】

続いて、図6 (A) ~ (C) を参照して、信号光の雑音低減装置を備えるEDFAによる、信号光波形及び雑音光波形の変化につきより詳細に説明する。尚、図6 (A) ~ (C) は、信号光波形及び雑音光波形の変化を概略的に説明する図であり、実際の波形変化を必ずしも示すものではない。また、この図の横軸は時間 $t$  (任意の単位) を表し、縦軸は信号光強度 (光パワー) (任意の単位) を表している。

## 【0072】

図5に示す入力部32から、信号光 $a$ が、当該信号光 $a$ の伝搬に伴って発生した雑音光 $b$ と共に双方向励起型EDFA50に入射される。このときの雑音光 $b$ の光強度は信号光 $a$ の光強度に比べて充分小さい (図6 (A) 参照)。

## 【0073】

そして、図5に示す双方向励起型EDFA50の可飽和吸収体15の前段までにおいて、信号光 $a$ は光増幅されて信号光 $a'$ となる。また、信号光 $a$ の光増幅過程において、当初の雑音光 $b$ 及びランダムに発生する自然放出光等も増幅され雑音光 $b'$ となる。このときの雑音光 $b'$ の光強度は、信号光 $a'$ の光強度に対して無視できない大きさとなる (図6 (B) 参照)。

## 【0074】

そして、信号光 $a'$ 及び雑音光 $b'$ を、可飽和吸収体15を介して出力させることにより、光強度の大きな信号光 $a'$ はほぼ100%透過されて信号光 $a''$ となる一方で、雑音光 $b'$ はその透過が低減或いは実質的に遮断されるといえる (図6 (C) 参照)。尚、信号光 $a''$ の波形形状は、信号光 $a'$ の波形形状に比べて波形整形されている (詳細後述)。

## 【0075】

また、この実施の形態において、SWNTの直径及び長さを調整して (特に、

SWNTの直径の縮小化は有効である。) 、 SWNTの吸収ピーク波長を1780nm付近から1500nm付近にまで推移させることは、SWNTの可飽和吸収機能を顕著とするためにも望ましい。しかし、信号光波長とSWNTの吸収ピーク波長とを必ずしも一致させずとも、SWNTの吸収波長域内の信号光波長であれば、SWNTは実用上使用可能である。

## 【0076】

また、この実施の形態では、図9における光アイソレータ38'を可飽和吸収体15で代替させた構成であるが、光アイソレータ38も可飽和吸収体15で代替させた構成、或いは、双方向励起型EDFA30の後段に可飽和吸収体15を配置させた構成でも、同様の効果を期待できる。

## 【0077】

更に、可飽和吸収体15は、信号光のみならず信号光とは逆進する、この信号光の反射光に対しても同様に可飽和吸収を行うことができる。よって、図5に示す可飽和吸収体15を、反射光の透過を遮断する光アイソレータとして利用することができるし、或いは、信号光の雑音低減と反射光の光アイソレートとを具える素子として利用することができる。従って、この発明の雑音低減装置は、信号光の伝搬通路に挿入して利用することにより、雑音劣化の少ない良好な光伝送の実現を図ることが可能となる。

## 【0078】

更に、図7を参照して、可飽和吸収体15を波形整形器として利用する場合について説明する。この図の横軸は時間 $t$ （任意の単位）を表し、縦軸は信号光強度（光パワー）（任意の単位）を表している。

## 【0079】

既に説明したように、光の強度分布のうち中心側の強度の大きい部分の光の透過率は高く、この分布の裾側の強度の小さい部分の光の透過率は低い。従って、図7に示すように、可飽和吸収体15に入射される前の信号光 $a'$ （図6における信号光 $a'$ に対応している。）は、可飽和吸収体15を介すことによって、当該信号光 $a'$ のうち光強度の弱い信号光の透過が遮断された信号光 $a''$ となる。

## 【0080】

その結果、可飽和吸収体 1 5 を介して出力されるパルス信号光 a'' は、信号光 a' の前後端がカットされた波形となる。よって、信号光 a'' のパルス幅 Y は、信号光 a' のパルス幅 X よりも狭くなる。従って、図 5 に示す可飽和吸収体 1 5 を、パルス信号光に対して用いる場合には、パルス時間幅を短くかつ信号光を急峻な波形に、例えば、矩形形状のように整形する、波形整形器として利用することとする。

## 【 0 0 8 1 】

また、可飽和吸収体 1 5 であるカーボンナノチューブを利用したこの発明の雑音低減装置は、光破壊及び機械的破壊に対する耐性や耐水性等を有する長寿命な光デバイスであることから、特に、光通信分野での幅広い活用が期待できる。

## 【 0 0 8 2 】

以上、この発明の実施の形態における条件等は、上述の組合せのみに限定されない。よって、任意好適な段階において好適な条件を組み合わせ、この発明を適用することができる。

## 【 0 0 8 3 】

例えば、この発明の雑音低減装置の可飽和吸収機能は、光増幅器からの信号光に限られず任意好適な発生源からの（信号）光に対して適用することができる。例えば、上述した実施の形態では、可飽和吸収体を用いた雑音低減装置を光通信分野に適用した場合について説明したが、半導体デバイス分野にも適宜適用して好適である。

## 【 0 0 8 4 】

つまり、図 8（A）に示すように、半導体デバイス、例えば、光増幅媒体として半導体を用い、レーザから共振器を取り除いた構成である半導体光増幅器 6 0 から出射される光の光路にこの発明の雑音低減装置を挿入して、この出射光に対し可飽和吸収を行うことにより、当該半導体光増幅器 6 0 から不所望に発生して製品の信頼性低下を招くノイズを、低減または排除することができる。また、半導体レーザ 6 2 についても、この出射光の光路にこの発明の雑音低減装置を挿入すれば、上述したノイズの低減または排除等の効果が期待できる。

## 【 0 0 8 5 】

また、図8(B)に示すように、信号光の通路中に複数の光ファイバ増幅器（ここでは、例として、図5に示す双方向励起型EDFA50とする。）を、例えば、3つ接続して具える場合は、可飽和吸収体15であるカーボンナノチューブを、隣接する光ファイバ増幅器毎に、中継器として設ける構成としても良い。この場合には、接続された光ファイバ増幅器50から出射される増幅光の各々に対して可飽和吸収がなされるので、不所望なASEをより効率良く遮断（低減）することができる。

## 【0086】

尚、光ファイバ増幅器の接続数は上述した3つに限定されない。例えば、実際には、光ファイバ約80km毎に1つの光ファイバ増幅器を設け、信号光の減衰を補償しながら伝送距離の長スパン化を図っている。このとき、信号光の増幅と共に雑音光も増幅を繰り返すため、雑音光の影響が無視できない程度にまで大きくなり、その結果、信号光の正確な伝搬を妨げる。

## 【0087】

そこで、上述したように、光ファイバの接続と共にこの発明の雑音低減装置、すなわち、可飽和吸収体であるカーボンナノチューブを設け、雑音光レベルを、各カーボンナノチューブ毎に、例えば、10%程度ずつ低減させる構成とするだけでも、例えば、10000km地点での雑音光の影響を極めて効果的に低減でき、S/N比の低下を抑制する働きがある。

## 【0088】

尚、ガラス基板は、平行平板に何ら限定されず、用途又は設計に応じて任意好適な形状のガラス基板とすることができる。また、透明な光学材料として、ガラス基板以外のプラスチック等であっても良い。

## 【0089】

## 【発明の効果】

上述した説明から明らかなように、この発明によれば、カーボンナノチューブが備える可飽和吸収機能を、信号光強度の弱いASE等の透過を遮断する一方で光強度の強い信号光を透過する、信号光の雑音低減装置として光通信分野で利用することができる。その結果、ASE等の低減を図ることができるので、伝送距

離の一層の長スパン化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

SWNT 薄膜の光吸収特性の説明に供する図である。

【図 2】

図 1 で最も低いエネルギー領域に現れた吸収帯部分について、横軸を光波長に変換した図である。

【図 3】

SWNT 薄膜の Z - スキャン法の測定装置の説明に供する図である。

【図 4】

SWNT 薄膜の Z - スキャン法において、SWNT 薄膜が - 4 0 m m 付近に位置したときの、各レーザ光強度における透過率の説明に供する図である。

【図 5】

この発明の信号光の雑音低減装置を備える EDFA の説明に供する図である。

【図 6】

(A) ~ (C) は、SWNT 薄膜による雑音光の低減効果の説明に供する図である。

【図 7】

SWNT 薄膜による波形整形効果の説明に供する図である。

【図 8】

(A) 及び (B) は、実施の形態の変形例の説明に供する図である。

【図 9】

一般的な EDFA の構成の説明に供する図である。

【符号の説明】

1 0 : Z - スキャン法測定装置

1 2 : 光源

1 4 : UV カットフィルタ

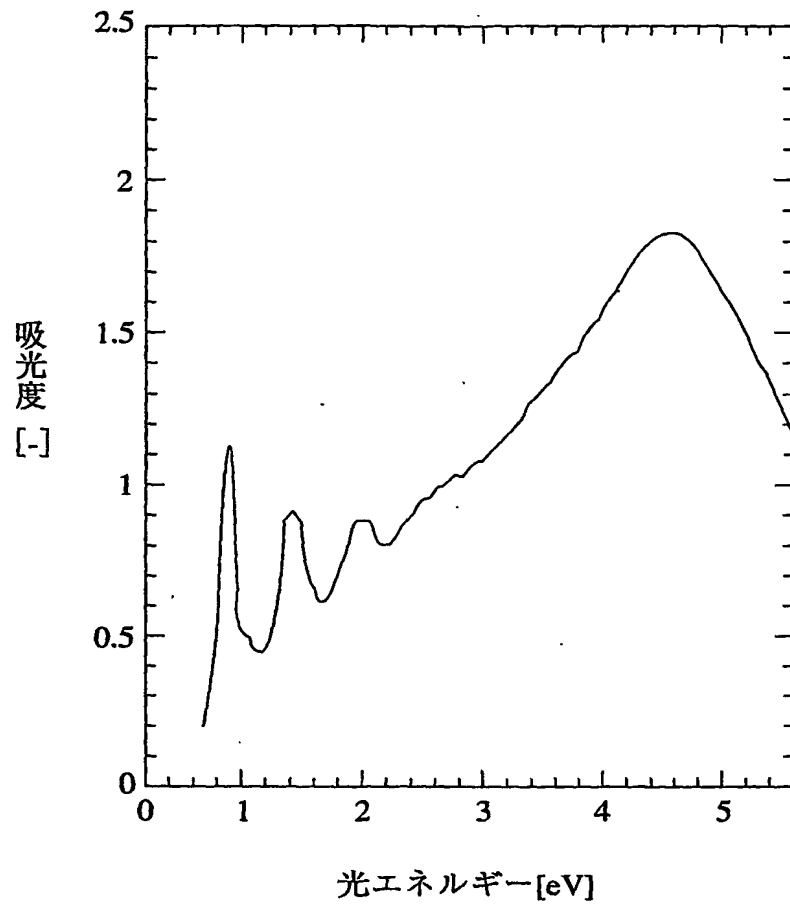
1 5 : SWNT 薄膜 (可飽和吸収体)

1 6 : ND フィルタ

- 1 8 : レンズ
- 2 0 : 受光器
- 3 0 : 一般的な双方向励起型 E D F A
- 3 2 : 入力部
- 3 4 , 3 4 ' : 光合分波器
- 3 6 , 3 6 ' : 励起光源
- 3 8 , 3 8 ' : 光アイソレータ
- 4 0 : エルビウム添加光ファイバ ( E D F )
- 4 2 : 出力部
- 5 0 : この実施の形態の双方向励起型 E D F A
- 6 0 : 半導体光増幅器
- 6 2 : 半導体レーザ

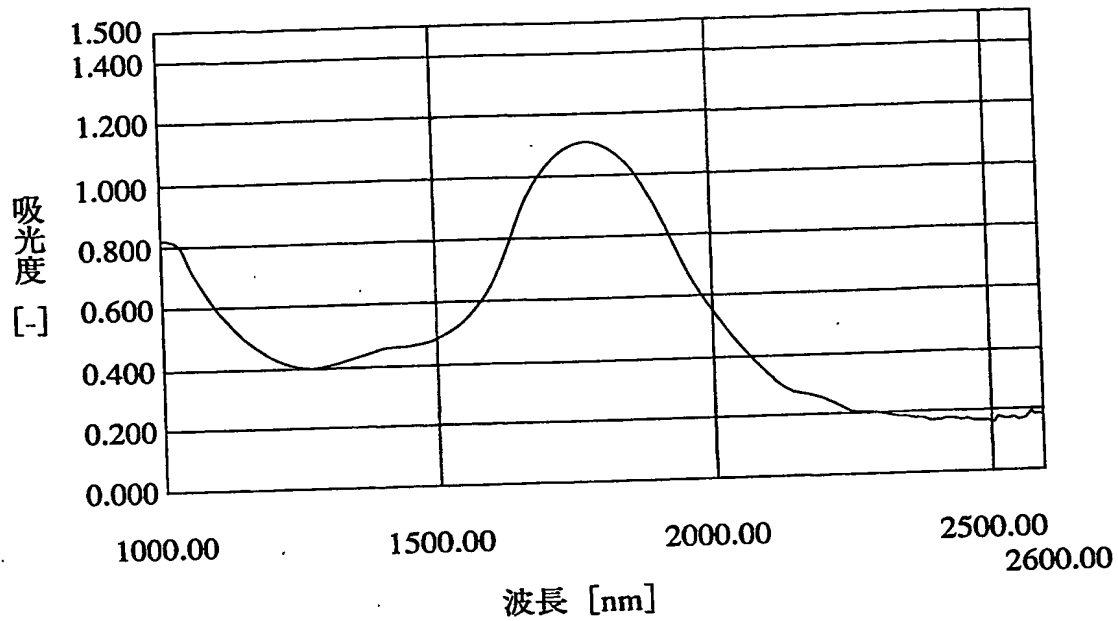
【書類名】 図面

【図1】



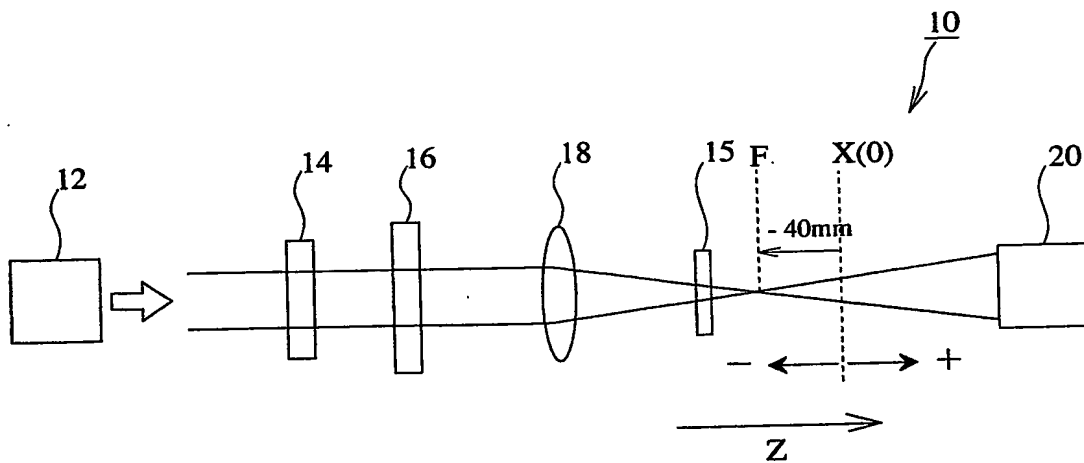
SWNT 薄膜の光吸収特性 (その1)

【図2】



SWNT 薄膜の光吸収特性 (その2)

【図3】

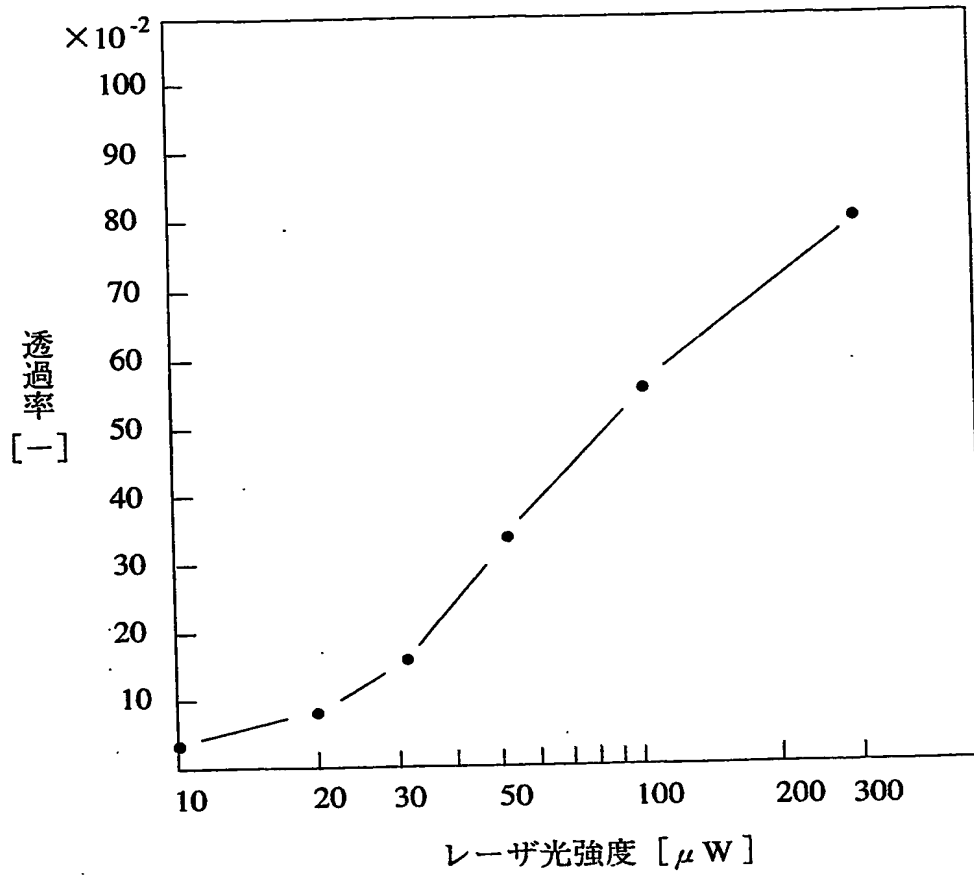


10 : z-スキャン法測定装置 12 : 光源 14 : UVカットフィルタ  
16 : NDフィルタ 18 : レンズ 20 : 受光器

X-スキャン法測定装置構成図

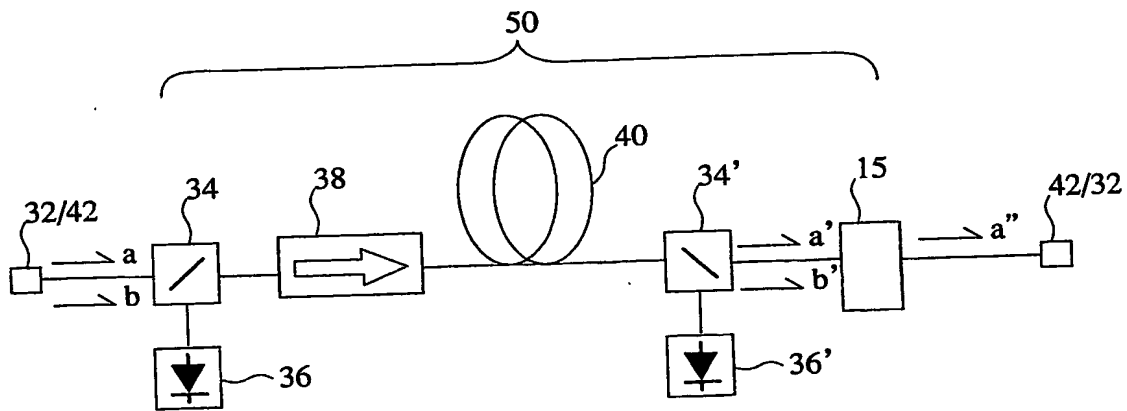


【図4】



各レーザー光強度における透過率測定結果 (SWNT薄膜: -40mm地点)

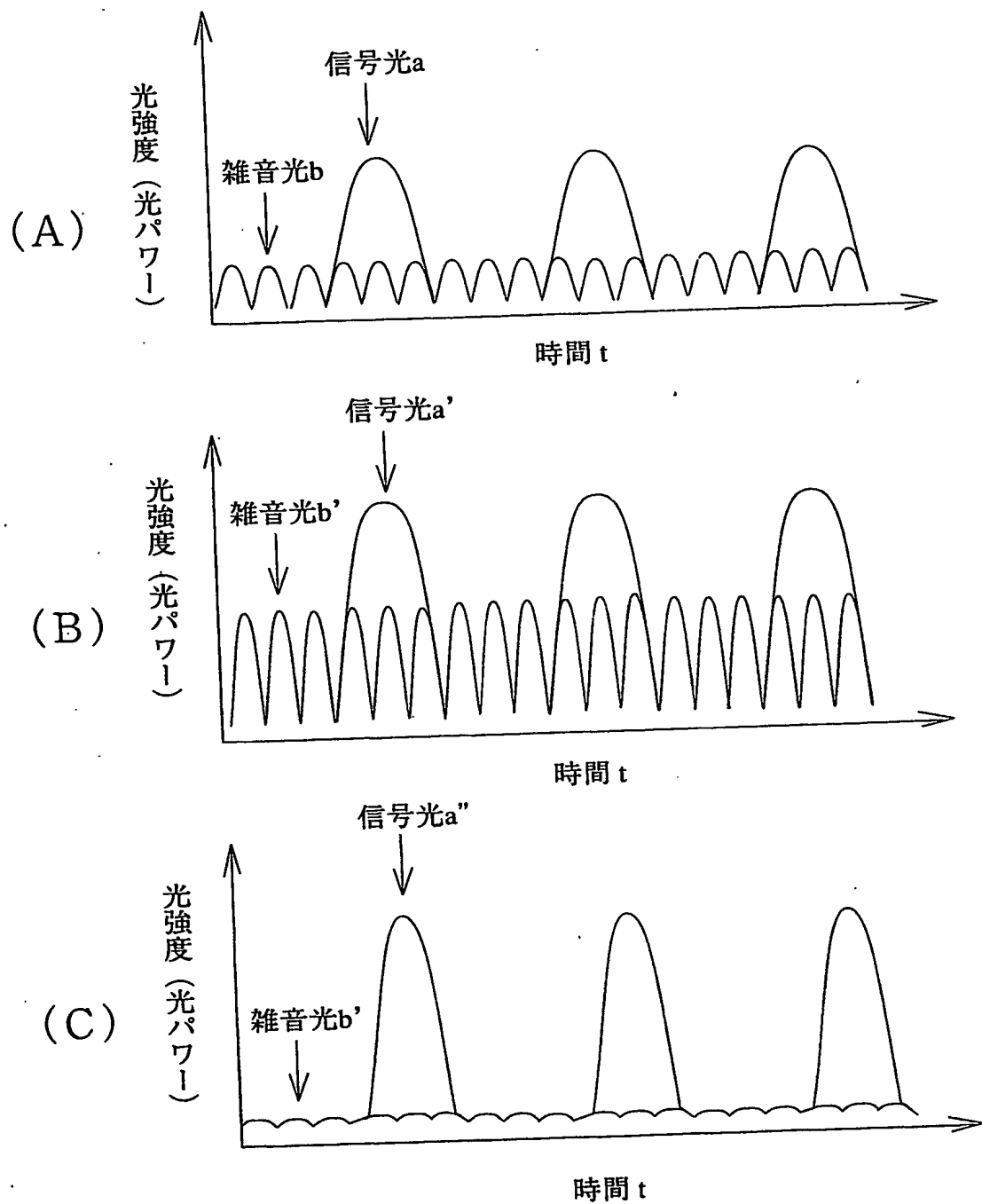
【図 5】



50：双方向励起型EDFA

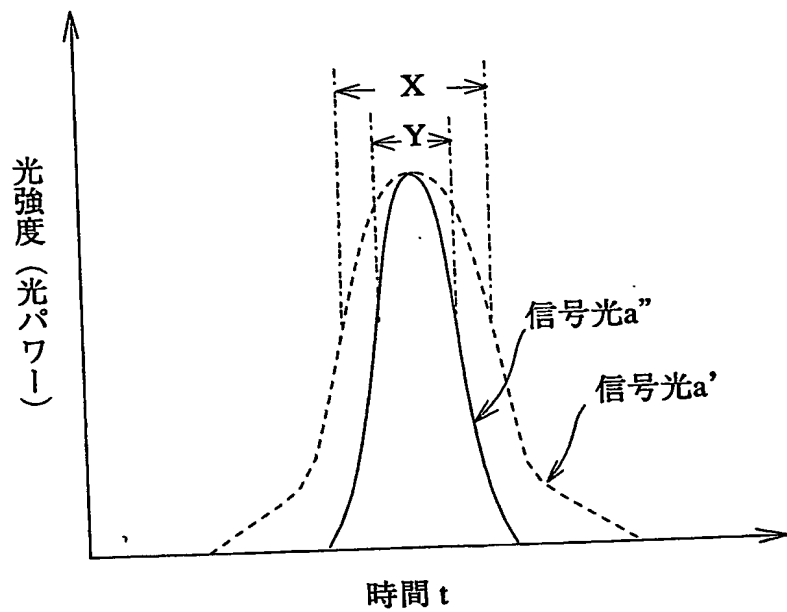
この実施の形態の双方向励起型EDFAの概略構成図

【図6】



過飽和吸収体による雑音光強度低減効果

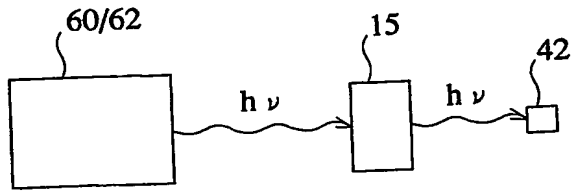
【図7】



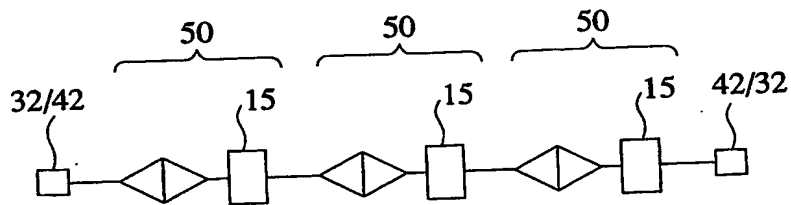
過飽和吸収体による波形整形効果

【図 8】

(A)



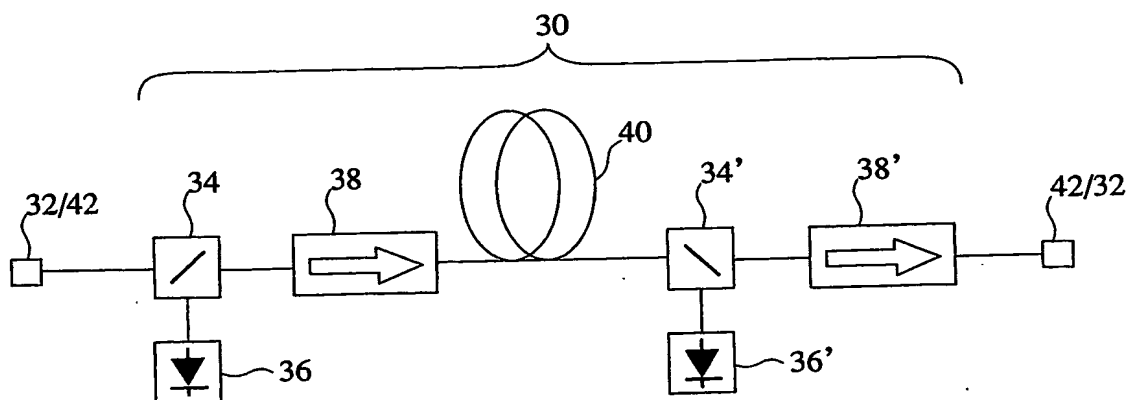
(B)



60：半導体光増幅器 62：半導体レーザ

この実施の形態の変形例の概略構成図

【図 9】



30：双方向励起型EDFA 32：入力部 34, 34'：光合分波器  
36, 36'：励起光源 38, 38'：光アイソレータ 40：EDF 42：出力部

一般的な双方向励起型EDFAの概略構成図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光通信において不所望に発生するASEを低減し、伝送距離の長スパン化を図る。

【解決手段】 カーボンナノチューブを可飽和吸収体15として用いるとともに、当該可飽和吸収体を、信号光強度の弱い不所望なASE等の透過を遮断或いは低減させる一方で、光強度の強い信号光を透過させる機能を果たすような雑音低減装置として、例えば、双方向励起型EDFA50の信号光の通路中、より詳しくは、EDF40の後段に挿入させた構成とすることにより、可飽和吸収機能を有するカーボンナノチューブの光通信分野における利用をはかる。

【選択図】 図5

特 2002-048392

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-048392
受付番号	50200257554
書類名	特許願
担当官	田中 則子 7067
作成日	平成14年 5月 9日

### <認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 2月25日

次頁無



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関1-3-1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[502068399]

1. 変更年月日

2002年 2月25日

[変更理由]

新規登録

住 所

埼玉県川口市川口6丁目3番14号

氏 名

株式会社アルネアラボラトリ

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**